Boukhobza OMAR
SMA-1
G-2

1

UNIVERSITE ABDELMALEK ESSAADI
FACULTE DES SCIENCES DE TETOUAN

Ala : 131 - 117 mm

MODULE DE PHYSIQUE 1

TRAVAUX PRATIQUES

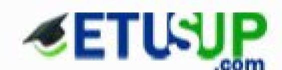
MANIPULATIONS

I/ Unité de mécanique :

1/ PENDULE SIMPLE
2/ ETUDE STATIQUE DES RESSORTS
3/ ETUDE DYNAMIQUE DES RESSORTS

II/ Unité de thermodynamique

4/ CALORIMETRIE I
5/ CALORIMETRIE II



GENERALITES

1 / INCERTUTUDES DE MESURES

Toute mesure est toujours entachée d'une certaine erreur. Ceci est dû aux imperfections de l'instrument de mesure et de l'expérimentateur. La grandeur que l'on mesure est définie avec une précision limitée.

1.1/ Types d'erreurs

On distingue deux types d'erreurs :

a) **Erreurs systématiques**

Elles proviennent d'un défaut de l'instrument ou d'une mauvaise méthode de mesure.

Exemple **:** Mesurer une masse avec une boite contenant des masses marquées inexactes ; mesurer la température d'un liquide avec un thermomètre dont on n'a pas contrôlé le zéro.

b) **Erreurs accidentelles**

Si on recommence plusieurs fois la même mesure d'une grandeur invariable on n'obtient jamais le même résultat, mais tantôt un peu plus et tantôt un peu moins qu'à la première mesure. Ces erreurs sont appelées « erreurs accidentelles » Elles sont dues au manque de fidélité de l'instrument et aussi aux mauvais réflexes de l'opérateur.

L 'emploi des méthodes statistiques (Cf I-3-b) permet d'analyser ces erreurs et de réduire leur influence sur le résultat final.

I .2/ Incertitudes absolue et relative :

Considérons une grandeur G. Le résultat d'une mesure de G est donc toujours entachée d'une erreur inconnue difficile à déterminer avec précision.

On appellera ***incertitude absolue*** une limite supérieure de la valeur absolue de cette erreur. C'est une quantité toujours positive qui a la même unité que G. La valeur exacte de G sera comprise entre les limites: $Gm+\Delta G$ et $Gm-\Delta G$.

On appelle incertitude relative la quantité $\frac{\Delta G}{G}$. C'est une quantité exclusivement positive et sans unité. Le résultat final sera écrit sous forme

$$G = (G_m \pm \Delta G)$$





I.3/ Cas particulier

a) Dans certains cas simples, l'incertitude absolue est réglée par la graduation de l'appareil. Si on désire mesurer une longueur L avec une règle graduée en mm, la position d'un trait par rapport à la graduation de la règle peut être au ½ mm près. D'où $\Delta L = 0{,}5$ mm.

b) S'il est possible de repérer un assez grand nombre de fois la mesure d'une même grandeur dans les mêmes conditions, on peut utiliser les méthodes statistiques.

Prenons par exemple : Cinq mesures successives d'une grandeur H ont donnée :
1,30 - 1,34 - 1,36 - 1,35 - 1,30 la moyenne est : G_m=1,33 . Les écart par rapport à la moyenne en valeur absolue sont : 0,03 – 0,01 – 0,03 – 0,02 – 0,03. Le plus grand écart est considéré comme l'incertitude absolue sur G. Le résultat final sera sous la forme :

$$G = G_m \pm \Delta G = (1{,}33 \pm 0{,}03)$$

N.B/ Si dans une série de mesures, une valeur s'écarte « ***trop*** » de la moyenne elle doit être refaite.

c) Cas des appareils électriques. Considérons un ampèremètre de classe 2, par exemple, l'incertitude absolue ΔI est donnée par la formule

$$\Delta I = \frac{classe\ \ x\ \ calibre}{100}$$

I.4/ Remarques :

Remarque 1 :

L'incertitude absolue doit toujours accompagner l'indication du résultat d'une mesure
Exemple : 1,312 ± 0,02 doit s'écrire 1,31 ± 0,02
Alors que 1,316 ± 0,02 doit s'écrire 1,32 ± 0,02
On dit dans ce cas qu'on « arrondit » le résultat

Remarque 2 :

Lorsque l'indication de l'incertitude absolue n'accompagne pas explicitement le résultat, on admet implicitement que l'incertitude est de l'ordre correspondant au dernier chiffre indiqué.
Exemple : L =1,200 m veut dire que ΔL = 0,001 m
L =1,20 m veut dire que ΔL = 0,01 m

Remarque 3 :

Lorsqu'une grandeur G est affecté de plusieurs incertitudes $(\Delta G)_1$, $(\Delta G)_2$ etc …La résultante ΔG est la somme : $\Delta G = \Delta G_1 + \Delta G_2 + \ldots$
Si un terme est relativement faible devant les autres, il peut être négligé.

I.5/ Exemple :



Nous terminons ce chapitre par un exemple qui permet d'illustrer ce qu'on a déjà avancé.
On se propose de mesurer le temps t correspondant à 10 périodes T d'un pendule de torsion.
Le chronomètre utilisé nous donne $(\Delta t)_{lecture} = 0{,}01$s. On effectue plusieurs mesures qui donnent :

$t_1 = 42{,}6$s ; $t_2 = 41{,}8$s ; $t_3 = 43{,}4$s ; $t_4 = 41{,}8$s ; $t_5 = 43{,}0$s

Nous avons la moyenne $t_m = 42{,}52$s.

$$\Delta(t)_m = \sup |t_i - t_m| = 0{,}88\text{s}$$

L'incertitude totale : $\Delta t = (\Delta t)_{opérateur} + (\Delta t)_m$

$\Delta t = (\Delta t)_{lecture} + (\Delta t)_m$

Dans ce cas, nous pouvons négliger $(\Delta t)_l$ devant $(\Delta t)_m$.

Finalement : $t = t_m \pm \Delta t = (42{,}52 \pm 0{,}88)$ s c'est à dire $t = (42{,}5 \pm 0{,}9)$ s

Nous pouvons déduire la période T et l'erreur sur T (ΔT) par les relations :

$$T = \frac{t}{10} \quad et \quad \Delta T = \frac{\Delta t}{10}. \qquad \text{D'où :} \qquad T = (4{,}25 \pm 0{,}09)\ s$$

II / Calcul d'incertitudes

En général, la mesure d'une grandeur G s'effectue par la mesure d'autres grandeurs physiques intermédiaires x, y, z, u, v indépendantes. La grandeurs G est alors définie par G= (x, y, z, u, v).
Connaissant les incertitudes de mesures de x, y, z, u, v, on détermine les incertitudes absolue ΔG et relative $\frac{\Delta G}{G}$.

II.1/ Principe du calcul

II.1.1/ Cas simple d'une seule variable : $G = f(x)$

On détermine la valeur de G à partir de la mesure de la grandeur x.
Soit Δx l'incertitude absolue associée à x. On prend la différentielle de G soit

$$dG = f'(x_o)\, dx$$

$f'(x_o)$ est la dérivée de G par rapport à x au point x_o (valeur mesurée de x). dG et dx sont des valeurs positives ou négatives alors que ΔG et Δx sont infinitésimales et on peut écrire :

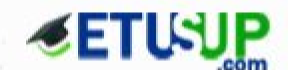
$$\Delta G = |f'(x_o)|\Delta x$$

Exemple : Calculer l'incertitude ΔI sur le moment d'inertie I sachant que le rayon r est mesuré avec une incertitude Δr. La masse est supposée connue de manière exacte ($\Delta m = 0$).
Différentier $I = mr^2$ ce qui donne $dI = m\,2r.dr$. L'incertitude sur I est : $\Delta I = 2m.r\Delta r$.

Application numérique : m = 1Kg et r = (1.00 ± 0,01) m
$I = (1{,}00 \pm 0{,}02)$ Kg.m²

II.1.2/ Cas où on a plusieurs variables

Soit G = f(x, y, z,...) la grandeur dont on veut déterminer la valeur et son incertitude.
Soient x, y, z... les grandeurs mesurées.
Pour calculer l'incertitude ΔG on généralise la méthode utilisée dans le cas précédent :



$$dG = f'_x dx + f'_y dy + f'_z dz + \dots$$

$f_x = (\frac{\partial f}{\partial x})$ est la dérivée partielle de f par rapport à x, les autres variables étant supposées constantes de même pour : $f'_y,\ f'_z \dots$

$$dG \leq |f'_x| dx + |f'_y| dy + |f'_z| dz + \dots.$$

Pour avoir une estimation de l'incertitude absolue ΔG, nous pouvons considérer la quantité

$$\Delta G = |f'_x| \Delta x + |f'_y| \Delta y + |f'_z| \Delta z + \dots$$

Cette étape s'appelle majoration physique

Exemple :

$$G = x^2 + 3y - z^3$$
$$dG = 2x\, dx + 3dy - 3z^2 dz$$
$$\Delta G = 2|x| \Delta x + 3\Delta y + 3z^2 \Delta z$$

II.2 / Différentes méthodes pour calculer les incertitudes.

II.2.1/ Premier cas.

La fonction dont on veut calculer l'incertitude est déterminée à partir des sommes et différences de produit ou quotients

Exemple : $G = xy + \frac{x}{u} + \frac{1}{z} + z^2$

1° étape du calcul : Différenciation de la fonction : $dG = f'_x dx + f'_y dy + f'_z dz + f'_u du$

2° étape du calcul : Regroupement des coefficients de : dx, dy, dz, du

$$dG = (y + \frac{1}{u})dx + x dy + (2z - \frac{1}{z^2})dz - \frac{x}{u^2} du$$

3° étape du calcul : Majoration physique $\Delta G = \left| y + \frac{1}{u} \right| \Delta x + |x| \Delta y + \left| 2x - \frac{1}{z^2} \right| \Delta z + \left| - \frac{x}{u^2} \right| \Delta u$

II.2.2/ Deuxième cas :

Produits et quotients de sommes et de différences.

Exemple : $G(x, y, u, v) = \frac{x - u}{y + v + x}$

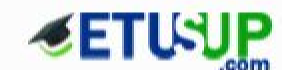
1° étape : On prend cette fois le logarithme et on différencie Log G.

$$LogG = Log(x - u) - Log(y + v + x)$$
$$dLogG = \frac{dG}{G} = \frac{d(x - u)}{x - u} - \frac{d(y + v + x)}{y + v + x}$$
$$\frac{dG}{G} = \frac{dx}{x - u} - \frac{du}{x - u} - \frac{dy}{y + v + x} - \frac{dv}{y + v + x} - \frac{dx}{y + v + x}$$

2° étape : On regroupe les coefficients de dx, dy, du et dv.

$$\frac{dG}{G} = (\frac{1}{x - u} - \frac{1}{y + v + x})dx - \frac{dy}{y + v + x} - \frac{dv}{y + v + x} - \frac{du}{x - u}$$

3° étape : Majoration physique :



$$\frac{\Delta G}{G} = \left|\frac{1}{x-u} - \frac{1}{y+v+x}\right|\Delta x + \left|-\frac{1}{y+v+x}\right|\Delta y + \left|\frac{-1}{x-u}\right|\Delta u + \left|\frac{1}{y+v+x}\right|\Delta v$$

Remarque : On démontre que le regroupement des coefficients de dx, dy, dz avant de passer à la majoration physique, nous donne une meilleure estimation de l'incertitude.

Il suffit de considérer l'exemple simple : $y = x^2 - x \quad \Rightarrow \quad dy = 2\,xdx - dx$

On vous laisse le soin de faire la vérification.

III./ Représentation Graphique

On traitera uniquement le cas des fonctions linéaires.

III.1/ Rappel théorique

La représentation graphique de la fonction y = ax + b est une droite (fig.1)

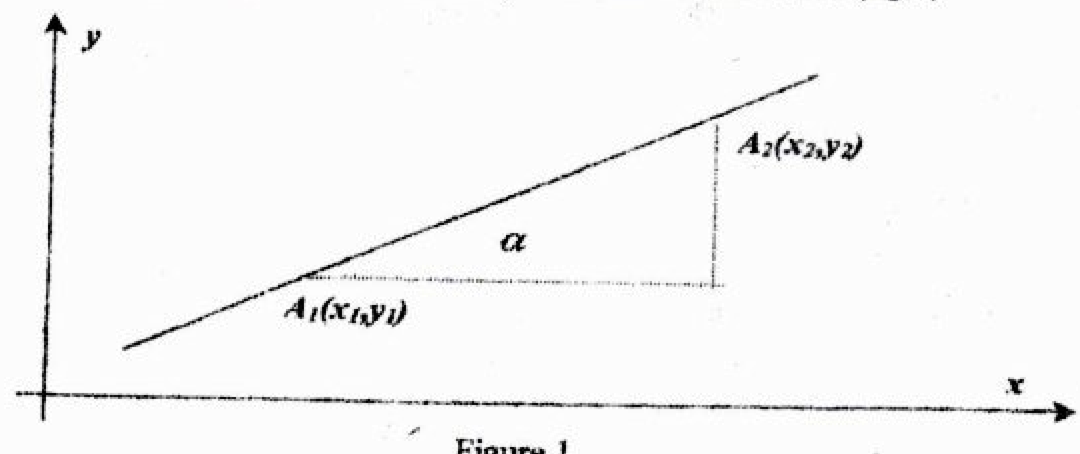


Figure.1

Si nous considérons deux points $A_1(x_1,y_1)$ et $A_2(x_2,y_2)$, la quantité $P = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ s'appelle la pente de la droite.

On démontre que P = a . Quand le système x0y est orthonormé nous avons :

$P = a = \text{tg}\,\alpha$. C'est une grandeur sans unité.

Cependant dans la plupart des cas en physique, les grandeurs représentées sur Ox et Oy sont de natures différentes. La quantité $P = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ est une grandeur qui a une unité bien définie.

Elle n'a aucun rapport avec $\text{tg}\,\alpha$.

III.2/ Tracé des points et rectangles d'incertitude

Considérons la relation V = f(I) = RI . Etant donné une série de mesures de V et I avec leurs incertitudes, il s'agit de déterminer graphiquement : $R \pm \Delta R$.

I(A)	**1,3**	**2,5**	**4,0**
Δ I(A)	**0,1**	**0,1**	**0,2**
V(volt)	**2,5**	**4,9**	**8,1**
Δ V(volt)	**0,2**	**0,2**	**0,3**

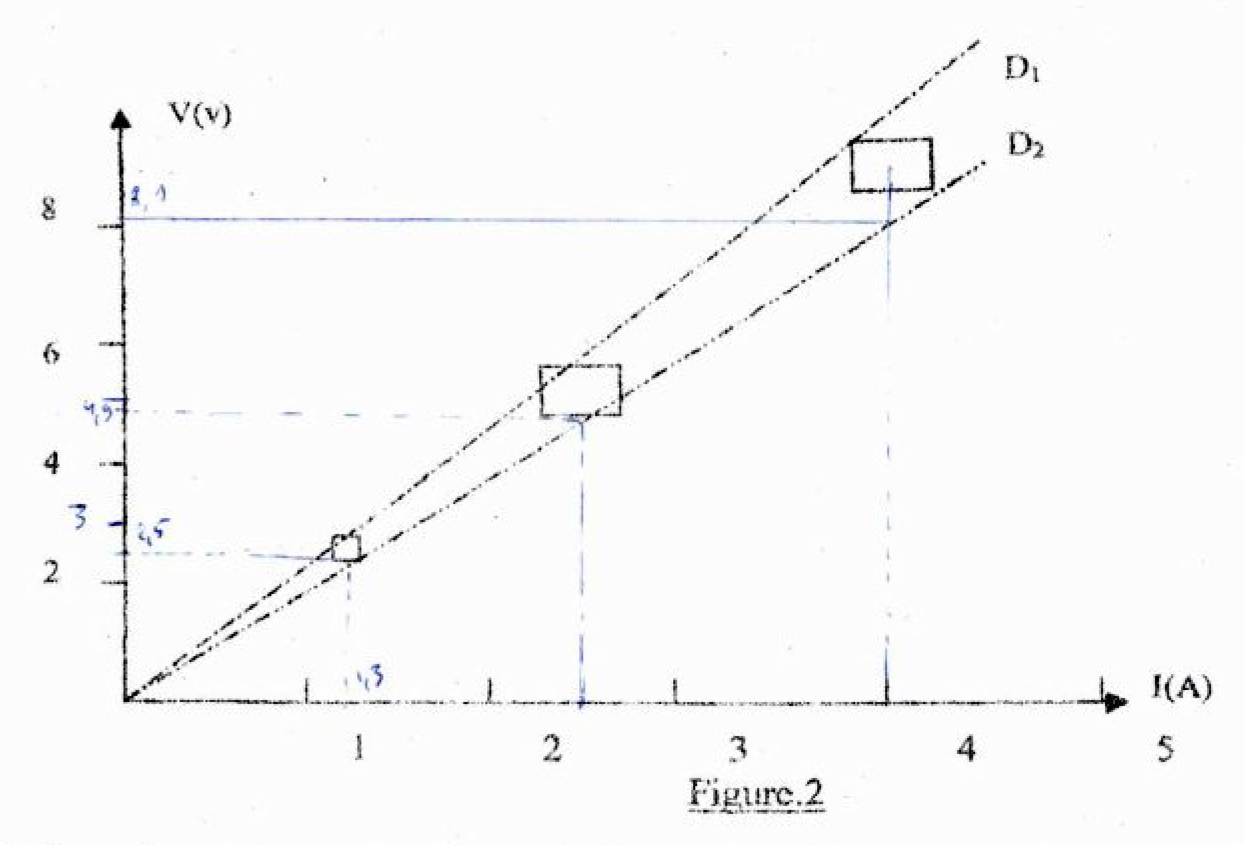


Figure.2

La figure 2 vous montre que chaque résultat expérimental est représenté par une rectangle d'incertitude dont la longueur des côtés est 2 Δ V et 2 Δ I, le centre du rectangle étant le point expérimental (I,V). Les deux droites passent par le centre O.

III.3/ Pentes limites

Toutes les droites qui coupent tous les rectangles d'incertitude vérifient, aux incertitudes près, la relation V = RI, leurs pentes sont comprises entre les pentes limites P_1 de la droite D_1 et P_2 de la droite D_2. Nous considérons : $P_{moyenne} = \frac{P_1 + P_2}{2}$

$$\Delta P = \frac{|P_1 - P_2|}{2} \qquad P = P_{moy} \pm \Delta P$$

Dans le cas de la figure 2

$P_1 = 2{,}54$ V/A , $P_2 = 1{,}70$ V/A

D'où :

$P = (2{,}1 \pm 0{,}4)$ V/A

De la relation V = RI nous déduirons : P = R

D'où : $R = (2{,}1 \pm 0{,}4)\,\Omega$

III.4/ Remarques

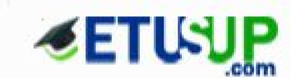


Remarque 1 : Le tracé d'une courbe s'effectue sur du papier millimétré, sur celui-ci il faut porter les axes de référence en indiquant le nom de la grandeur physique représentée ainsi que l'échelle choisie.

Il faut que le choix de l'échelle permette l'utilisation de la surface maximale de la feuille de papier millimétré.

Remarque 2 : Ne pas confondre la tangente qui n'a pas d'unité et la pente qui a une unité.

Remarque 3 : Il est inutile de noter sur les axes des coordonnées les valeurs associées aux mesures ou de tracer des droites parallèles aux axes des coordonnées.



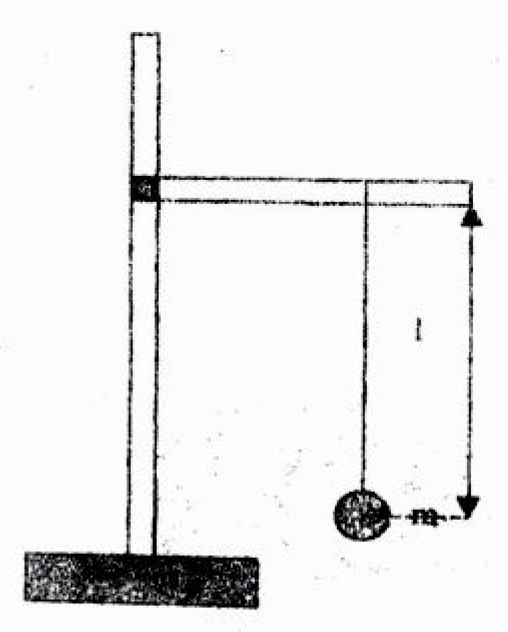
UNITE DE MECANIQUE



Manipulation n°1
PENDULE SIMPLE

I/ BUT

Il s'agit d'étudier le mouvement d'un pendule simple, de mesurer l'accélération de la pesanteur g.



II/ THEORIE

Le pendule simple est constitué d'un fil inextensible, de longueur l, de masse négligeable, au bout duquel est attachée une masse m, l'autre extrémité du fil étant fixe en O (figure I.1). Le point matériel M est à chaque instant repéré par ses coordonnées polaires $r = OM = l$ et $\theta = (-\overrightarrow{Oz}, \overrightarrow{OM})$, dans le plan vertical yOz. Le pendule simple écarté de sa position d'équilibre définie par $\theta = 0$, d'un angle θ_0 et abandonné, oscille autour de cette position d'équilibre.

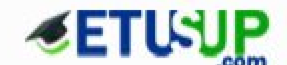
Le principe fondamental de la dynamique appliqué, dans le référentiel $\Re(Oxyz)$, au point matériel M donne :

$$\vec{T} + \vec{P} = m\vec{\gamma}_{\Re}(M) \qquad (I.1)$$

La relation (I.1) peut s'écrire, dans la base polaire $(\vec{e}_r, \vec{e}_\theta)$, sous forme :

$$(mg\cos\theta - T)\vec{e}_r - mg\sin\theta\vec{e}_\theta = -ml\dot{\theta}^2\vec{e}_r + ml\ddot{\theta}\vec{e}_\theta . \qquad (I.2)$$

La projection de la relation (I.2) sur l'axe radial donne :



$$mg\cos\theta - T = -ml\dot{\theta}^2 \Rightarrow \boxed{T = mg\cos\theta + ml\dot{\theta}^2} \qquad (I.3)$$

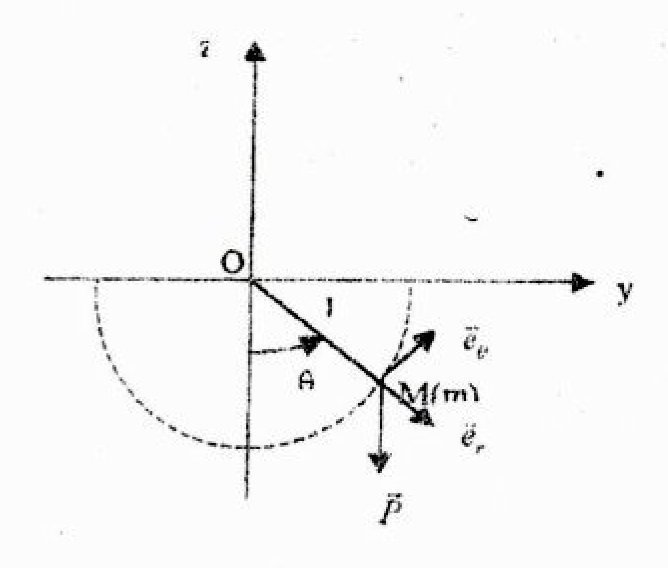


Figure I.1

La projection (I.2) sur l'axe ortho radial donne :

$$mg\sin\theta + ml\ddot{\theta} = 0 \quad \Rightarrow \boxed{\ddot{\theta} + \frac{g}{l}\sin\theta = 0} \qquad (I.4)$$

L'équation différentielle du mouvement du pendule simple (I.4) n'est équivalente à celle d'un oscillateur harmonique que dans l'approximation des petits angles $\theta \ll 15^\circ$.

Dans ce cas: $\sin\theta \approx \theta$, et en prenant $\omega_0^2 = \frac{g}{l}$ on obtient :

$$\boxed{\ddot{\theta} + \omega_0^2\theta = 0} \qquad (I.5)$$

La solution de l'équation (I.5) est de forme :

$$\boxed{\theta = \theta_m \cos(\omega_0 t - \varphi)} \qquad (I.6)$$

θ_m et φ sont des constantes qu'on détermine à partir des conditions initiales .

Le mouvement est sinusoïdal de période :

$$\boxed{T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}} \qquad (I.7)$$

III/ DEMARCHE A SUIVRE

Dans un premier temps nous allons examiner la validité de cette approximation dans les limites de précision de nos appareils de mesure.
Ensuite nous allons utiliser la formule (I.7) pour déterminer graphiquement l'accélération de la pesanteur g.



(5) $(t_m - t_1) = 12,65 - 12,71 = 0,06$

$(t_m - t_2) = 12,65 - 12,60 = 0,05$

IV/ MATERIELS

On dispose de :

- Trois sphères de masses différentes et de faibles diamètres; chacune d'entre elles est suspendue à un fil.
- Une potence à laquelle nous pouvons suspendre les pendules.
- Un chronomètre manuel pour mesurer les temps.
- Une règle graduée pour mesurer les longueurs.
- Un rapporteur d'angle.

$t_m - t_1 = 12,65 - 12,64 = 0,02$

15

$t_m - t_2 = 12,66 - 12,69 = |-0,03|$

$\sup(0,02 ; 0,03) = 0,03$

V/ MANIPULATION

V.1/ Isochronisme des oscillations

V.1.1/ influence de l'angle

Suspendez le pendule de longueur égale à 40 cm à la potence.
Ecartez le d'un angle θ_0 tout en restant dans la limite des petits angles et remplissez le tableau suivant :

Temps (s) / Angle (°)	t_1	t_2	t_m	$(\Delta t)_a$	$(\Delta t)_s$	Δt	T	$\Delta T = \frac{0,13}{10}$
grand (15°)	12,64	12,69	12,665	0,03	0,1	0,13	1,26 s = 1,25	0,013
petit (5°)	12,71	12,60	12,65	0,06	0,1	0,16	$\frac{12,65}{10} = 1,26$	$= \frac{0,16}{10} = 0,016$

Le temps t désigne la durée de 10 oscillations. Il est mesuré 2 fois; ce qui donne t_1 *et* t_2, t_m étant la moyenne et Δt l'incertitude qui est la somme de deux termes :
Δt = (Δt) accidentelle + (Δt) systématique.

$(\Delta t)_{acc} = \sup|t_m - t_i|$ et $(\Delta t)_s$ = précision du chronomètre.

La période des oscillations du pendule T et son incertitude ΔT seront données par les formules suivantes : $T = \frac{t_m}{10}$ et $\Delta T = \frac{\Delta t}{10}$.

L'angle θ_0 est mesuré à l'aide d'un rapporteur d'angles.

CONCLUSION

La différence entre $T(\theta grand)$ *et* $T(\theta petit)$ a-t-elle une signification physique compte tenu des incertitudes ? Qu'en déduisez vous ?

V.1.2/ influence de la masse



On lance, à partir d'un même angle $\theta_0 = 10°$, trois pendules simples de même longueur $l = 50cm$ mais constitués de boules de masses différentes. Déterminez dans chaque cas la période du pendule au moyen de la méthode utilisée dans V.1.1/. Remplissez le tableau suivant :

Temps (s) / pendule	t_1	t_2	t_m	$(\Delta t)_a$	$(\Delta t)_s$	Δt	T	ΔT
1	17,55	17,33	17,44	0,11	0,1	0,21	$\frac{17,44}{10}$ = 1,74	
2	17,11				0,1			
3					0,1			
					0,1			

La différence entre les trois périodes a-t-elle une signification physique ? Si oui essayez de l'expliquer par le fait qu'on n'a pas exactement la même longueur pour les trois pendules et qu'il existe une incertitude Δl liée à la précision de la règle graduée tel que d'après la formule (I.7) :

$$\frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{2}\frac{\Delta l}{l}$$

Conclusion ?

V.2/ Mesure de l'accélération d'apesanteur g

En choisissant la masselotte la plus pesante et en utilisant des fils de différentes longueurs, déterminez dans chaque cas la période du pendule. Remplissez le tableau ci-dessous en prenant chaque fois deux mesures du temps t.

Tracez sur le papier millimétré la courbe $T^2 = f(l)$ en notant les rectangles d'incertitude de cotés $\left(2\Delta T^2 et \;\; 2\Delta l\right)$. Quelle est la nature de cette courbe ? Tracez les droites limites et calculez les pentes limites P_1 et P_2. En déduire $P \pm \Delta P$ et $g \pm \Delta g$.

Temps (s) / l (m)	t_1	t_2	T	ΔT	T^2	ΔT^2
0.2						
0.3						
0.4						
0.5						
0.6						

Manipulation n°2
ETUDE STATIQUE D'UN RESSORT ASSOCIATION EN PARALLELE DE DEUX RESSORTS

I / BUT

Lorsqu'on soumet un ressort à une force, l'expérience montre que dans certaines limites, la déformation est élastique, c'est à dire proportionnelle à la force et réversible.
Le coefficient de proportionnalité « K » caractérise la raideur du ressort.
Il résulte de ce qui précède que l'on peut atteindre la raideur d'un ressort par la mesure de l'allongement Δx provoqué par une tension F (méthode statique).
Le but de la manipulation est de déterminer par cette méthode les raideurs k_1 et k_2 de deux ressorts, puis de vérifier la relation de leur associations en parallèle.

II / Théorie

II.1 / Ressort unique

Dans cette manipulation, on utilise des masses marquées dont le poids constitue, la force déformante, et on caractérise la déformation par l'allongement du ressort, c'est à dire la différence entre la longueur du ressort en charge et la longueur à vide.
La relation « allongement – poids » est :

$$mg = k\,\Delta x$$

Le coefficient de raideur k s'exprime en N/m dans le système international SI.

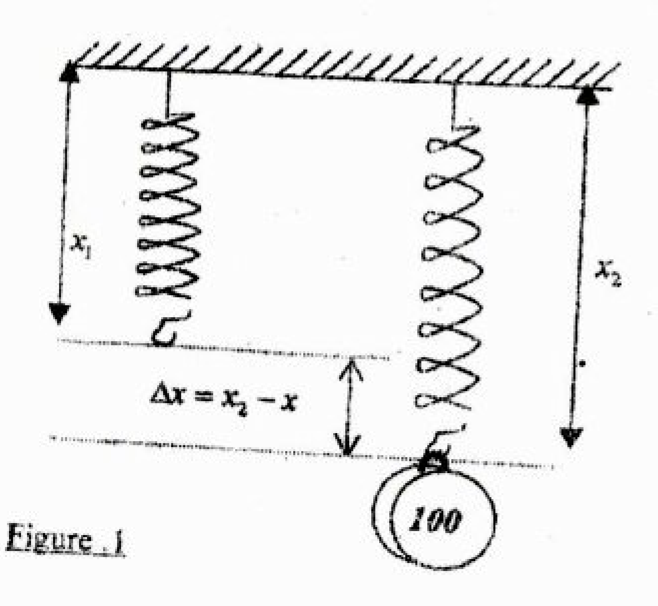


Figure 1

II.2/ Association des ressorts en parallèle



Considérons deux ressorts de raideurs k_1 et k_2 et groupons les en parallèles, on peut assimiler ces deux ressorts à un ressort unique équivalent de raideur $k_{1//2}$. nous cherchons les relations qui lient k_1, k_2 et $k_{1//2}$.

- L'allongement est le même pour les deux ressort $\Delta x_1 = \Delta x_2 = \Delta x$.

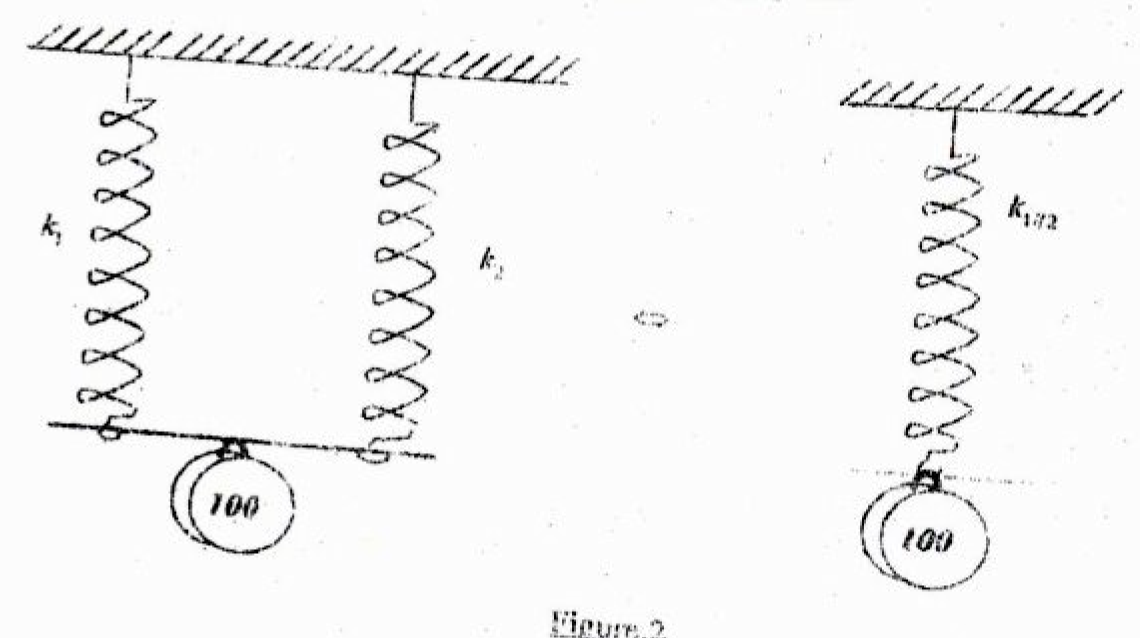


Figure 2

La force de tension mg (poids) va se répartir entre les deux ressorts proportionnellement à leur raideur, c'est à dire à leur dureté.

On a:

$$mg = F_1 + F_2 = k\,\Delta x$$

Avec:

$$F_1 = k_1\,\Delta x$$

$$F_2 = k_2\,\Delta x$$

D'où : $\boxed{k_{1//2} = k_1 + k_2}$

III / Matériel

On dispose d'une potence à laquelle on fixe les ressorts, des masses marquées munies d'un crochet qui peuvent être fixées les unes aux autres ou à l'extrémité libre du ressort.

Les allongements du ressort sont repérés à l'aide d'un cathétomètre muni d'une règle et d'un vernier donnant le 1/10 de mm.

- On fait coïncider l'extrémité de la boucle du ressort avec le fil horizontal du réticule gravé dans l'oculaire de la lunette de visée.

La lecture de la position de la boucle du ressort se fait sur l'échelle graduée du cathétomètre à la précision du vernier.

Il est possible d'utiliser une règle graduée au mm mais la précision sera naturellement moindre.

Notons tout de suite que les ressorts sont fragiles, ils ne doivent travailler que dans leur domaine d'élasticité.
Ainsi, des précautions doivent être prises afin de les préserver, il faut :

- appliquer au ressort des masses indiquées dans le texte ou sur la table de manipulation.
- provoquer des oscillations de faible amplitude
- ne pas laisser les masses accrochées au ressort lorsque la manipulation est terminée et ne pas prolonger inutilement le temps de cette manipulation.

IV / Manipulation

IV.1 / Mode opératoire

La détermination de la raideur k peut s'effectuer par la méthode ainsi que nous venons de le voir.
Fixez les ressorts de raideur k_1 et k_2 individuellement ou groupés en // à la potence.
Accrochez à leurs extrémités libres des masses marquées et mesurez leurs allongements.

IV.2/ Ressort 1 : 117 mm

Suspendez le ressort de raideur K_1 à la potence et accrochez à son extrémité libre des masses marquées.
Mesurez l'allongement du ressort pour chaque masse à l'aide d'un cathétomètre.
Remplir le tableau suivant et justifier le choix des incertitudes :

m(kg)	0,05 kg	0,10	0,15	0,20 = 200 g
Δx_1 (m)	136 − 117 = 0,019	157 − 117 = 40 → 0,04	176 − 117 = 59 → 0,059	196 − 117 = 79 = 0,079 m
$\Delta(\Delta x_1)$ (m)	0,001	0,001	0,001	0,001

Représentez graphiquement $m = f(\Delta x_1)$, sans les rectangles d'incertitude, ceux-ci étant trop petits pour être visibles.
Quelle est la nature de la courbe obtenue ?

Calculer la pente $P_1 \pm \Delta P_1$ à partir des 2 mesures extrêmes :

$$P_1 = \frac{m_4 - m_1}{(\Delta x_1)_4 - (\Delta x_1)_1}$$, en déduire $k_1 \pm \Delta k_1$

$\frac{0,2 - 0,05}{0,079 - 0,019} = \frac{0,15}{0,06} = 2,5$

IV.3/ Ressort 2 :

Fixez le ressort de raideur k_2 à la potence et accrochez à son extrémité libre des masses marquées.
Réaliser les mesures suivantes en justifiant les incertitudes choisies :

078403102

l = 0,125 m

$m(kg)$	0.05	0,10	0,15	0,20
Δx_2 (m)	0,135 - 0,125 = 0,01	0,145 - 0,125 = 0,02	0,155 - 0,125 = 0,03	0,165 - 0,125 = 0,04
$\Delta(\Delta x_2)$ (m)	0,001	0,001	0,001	0,001

Représentez **graphiquement** : $m = g(\Delta x_2)$, sans les rectangles d'incertitude, ceux-ci étant trop petits **pour être visibles**.

Quelle est la nature de la courbe obtenue ?

Calculer la pente $P_2 \pm \Delta P_2$ à partir des 2 mesures extrêmes :

$$P_2 = \frac{m_4 - m_1}{(\Delta x_2)_4 - (\Delta x_2)_1}$$, en déduire $k_2 \pm \Delta k_2$

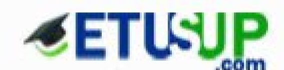
IV.4/ Ressorts en // :

$l_{1//k_2}$ = 0,145 m   = 0,171 m

Les deux ressorts 1 et 2 sont mis **en parallèle**.
En choisissant une masse m convenable, **mesurer** l'allongement correspondant Δx. A partir de la formule : mg = k Δx calculer **la valeur** de la raideur équivalente $k_{1//2}$ et $\Delta k_{1//2}$.

IV.5/ Conclusions

Vérifier **la** loi d'association en parallèle des deux ressorts en tenant compte des incertitudes.



Manipulation n°3

ETUDE DYNAMIQUE D'UN RESSORT. ASSOCIATION EN SERIE DE DEUX RESSORTS

I / But

Si nous écartons l'extrémité inférieure d'un ressort chargé de sa position d'équilibre et nous le lâchons ensuite, il se met à osciller. On ne considère que les oscillations libres et non amorties.
On se limitera ici aux seules oscillations longitudinales, c'est à dire parallèles à l'axe du ressort.
Nous verrons que la période de ces oscillations dépend du coefficient de raideur « k ». Il résulte de ce qui précède que l'on peut atteindre la raideur d'un ressort par la mesure de la période T des oscillations libres du ressort (méthode dynamique). On se propose dans cette manipulation de déterminer par cette méthode les raideurs k_1 et k_2 de deux ressorts différents, puis de vérifier les relations de leur associations en *série*.

II / Théorie

II.1 / Ressort unique

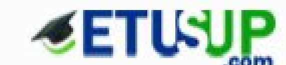
Méthode dynamique

Figure.1

100

Oscillations

Lorsqu'on applique le principe fondamental de la dynamique, en écrivant les équations du mouvement relatives à la masse et en projetant sur un axe vertical Ox on aura : $\overrightarrow{mg} + \overrightarrow{T_o} = 0$ à l'équilibre et $\overrightarrow{mg} + \vec{T} = \sum \vec{f}_{ex} = m\,\vec{\gamma}$ en mouvement sur Ox.
On en déduit



$$m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx \quad \text{ou} \quad \boxed{m\frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0} \qquad (1)$$

En posant $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ (pulsation propre du mouvement), la solution générale de l'équation différentielle (1) est de la forme :

$$\boxed{x = X_{max}\cos(\omega_0 + \varphi)} \qquad (2)$$

Le mouvement de la masselotte est donc un mouvement sinusoïdal périodique.
La période vaut :

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

On voit que cette période ne dépend pas de l'amplitude X_{max} des oscillations tant que la limite d'élasticité du ressort n'est pas atteinte.

II.2/ Associations de deux ressorts en série

k_1 k_2 k_{1+2} Oscillations 100 100

Figure.2

Considérons deux ressorts de raideur k_1 et k_2 et groupons les en série. On peut assimiler ces deux ressorts à un ressort unique équivalent de coefficient de raideur k_{1+2}.

Si l'on soumet l'ensemble à une force mg, il s'allonge d'une distance Δx et se comporte donc comme un ressort de raideur k_{1+2} telle que :

$$mg = k_{1+2} \cdot \Delta x$$

Par ailleurs, chaque ressort est soumis au même poids mg (on néglige les masses respectives des ressorts). Il en résulte que :

$$mg = k_1 \Delta x_1 \quad \text{et} \quad mg = k_2 \Delta x_2.$$

$\Rightarrow$ l'allongement total Δx est la somme des allongements Δx_1 et Δx_2 des deux ressorts :

$$\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2.$$

La considération de ces équations permet de déduire :

$$\frac{1}{k_{1+2}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

Ainsi lorsque deux ressorts sont associés en série, les inverses de leurs raideurs s'ajoutent pour donner l'inverse de la raideur du ressort équivalent.
Par conséquent, le système équivalent oscille avec une période :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_{1+2}}} = 2\pi\sqrt{m\left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}\right)}$$

III. / Matériel

On dispose d'une potence à laquelle on fixe les ressorts, des masses marquées munies d'un crochet qui peuvent être fixées les unes aux autres ou à l'extrémité libre du ressort.
Le temps t correspondant à 10 oscillations est mesuré à l'aide d'un chronomètre manuel.
Notons tout de suite que les ressorts sont fragiles, ils ne doivent travailler que dans leur domaine d'élasticité.
Ainsi, des précautions doivent être prises afin de les préserver, il faut :

- appliquer au ressort des masses indiquées dans le texte ou sur la table de manipulation.
- provoquer des oscillations de faible amplitude
- ne pas laisser les masses accrochées au ressort lorsque le manipulation est terminée et ne pas prolonger inutilement le temps de cette manipulation.

IV / Manipulation

IV.1 / Mode opératoire

La détermination de la raideur k peut s'effectuer par la méthode ainsi que nous venons de le voir.
Fixez les ressorts de raideurs k_1 et k_2 individuellement ou groupés en série à la potence.
Accrochez à leurs extrémités libres des masses marquées et les faire osciller.



Mesurez ensuite le temps de 10 oscillations à l'aide d'un chronomètre manuel, en déduire la période T du mouvement.

IV.2 / Détermination de la raideurs k_1

Suspendez le ressort de raideur K_1 à la potence et accrochez à son extrémité libre des masses marquées.
Faire osciller les masses autour de leurs positions d'équilibre et mesurez le temps de 10 oscillations. En déduire la période T du mouvement.
Remplir le tableau suivant et justifier le choix des incertitudes :

m(kg)	0,10	0,15	0,20	0,25
$T_1^2(s^2)$				
$\Delta T_1^2(s^2)$				

Représenter $m = f(T_1^2)$ en notant les segments d'incertitudes et en traçant les droites limites.
En déduire les pentes limites P_1 et P_2 et par la suite

$$\boxed{K_1 \pm \Delta k_1}$$

IV.3/ Détermination de la raideurs k_2

Fixez le ressort de raideur K_2 à la potence et accrochez à son extrémité libre des masses marquées.
Faire osciller les masses et remplir le tableau suivant :

m(kg)	0,10	0,15	0,20	0,25
$T_2^2(s^2)$				
$\Delta T_2^2(s^2)$				

Représenter $m = g(T_2^2)$ en notant les segments d'incertitudes et en traçant les droites limites.
En déduire les pentes limites P_1 et P_2 et par la suite

$$\boxed{K_2 \pm \Delta k_2}$$

IV.4 / Détermination de la raideur k_{1+2}

Les deux ressorts 1 et 2 sont mis en série. En choisissant une masse m convenable mesurer 3 fois la période correspondante T. En déduire T_{moy} et son incertitude.

A partir de la formule $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$. calculer k_{1+2} et Δk_{1+2}.

IV.5 / Conclusions

Vérifier les lois d'association en série des deux ressorts en tenant compte des incertitudes.

